

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-313498

(43)Date of publication of application : 09.11.1999

(51)Int.Cl.

H02P 7/36

H02P 7/63

(21)Application number : 10-119508

(71)Applicant : DENSO CORP

(22)Date of filing : 28.04.1998

(72)Inventor : OBAYASHI KAZUYOSHI

TSUJI HIROYA

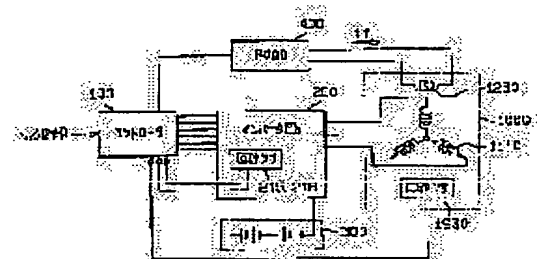
EGAMI TSUNEYUKI

## (54) DRIVE CONTROLLER FOR FIELD WINDING TYPE SYNCHRONOUS MACHINE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a drive controller for a field winding type synchronous machine which is able to improve the responsiveness of field magnetic fluxes.

**SOLUTION:** A controller 100 fetches a torque command value from an external device and controls the drive of a motor 1000, based on the fetched torque command value. The motor 1000 is constituted in a field winding type synchronous motor also using permanent magnets, and a drive current is supplied to the three-phase coils (armature windings) 1110 in U, V, and W-phases in the motor 1000 from an inverter circuit 200. The controller 100 detects whether or not the motor 1000 is transiently operated, and when the transient operation of the motor 1000 is detected, finds a d-axis current component (a current component for forming the coaxial component with the magnetic field by means of a field winding 1230), based on the then output request and controls the current flowing to the three-phase coils 1110 with the current component. As a result, mutual induction is generated between the field winding 1230 and three-phase coils 1110, and the self-induction (back electromotive force) of the field winding 1230 is suppressed by the mutual induction.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-313498

(43) 公開日 平成11年(1999)11月9日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>		識別記号		F I	
H 0 2 P	7/36	3 0 3		H 0 2 P	7/36
	7/63	3 0 3			7/63
					3 0 3 S
					3 0 3 V

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平10-119508

(22) 出願日 平成10年(1998)4月28日

(71) 出願人 000004260

株式会社デンソー

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72) 発明者 大林 和良

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

(72) 発明者 辻 浩也

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

(72) 発明者 江上 常幸

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

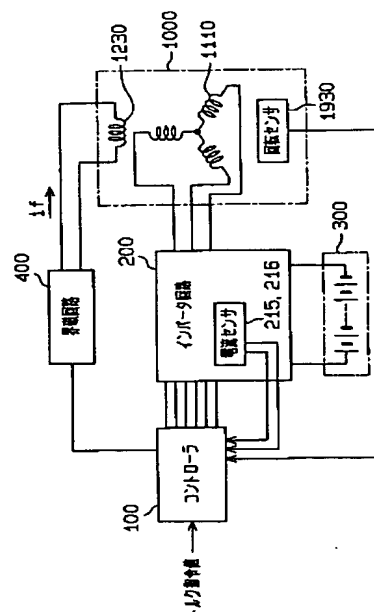
(74) 代理人 弁理士 恩田 博宣

(54) 【発明の名称】 界磁巻線式同期機の駆動制御装置

(57) 【要約】

【課題】 界磁束の応答性を向上させることができる界磁巻線式同期機の駆動制御装置を提供する。

【解決手段】 コントローラ100は、外部装置からトルク指令値を取り込み、該取り込んだトルク指令値に基づき電動機1000の駆動を制御する。電動機1000は、永久磁石を併用した界磁巻線式同期電動機にて構成され、その内部のU相、V相、W相の三相コイル（電機子巻線）1110にはインバータ回路200から駆動電流が供給される。コントローラ100は、電動機1000が過渡運転されているか否かを検出し、過渡運転の旨が検出されると、その時の出力要求に基づいてd軸電流成分（界磁巻線1230による磁界と同軸成分を作るための電流成分）を求め、その電流成分により三相コイル1110に流れる電流を制御する。これにより、界磁巻線1230と三相コイル1110との間に相互誘導が発生し、その相互誘導により界磁巻線1230の自己誘導（逆起電力）が抑制される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】界磁巻線と電機子巻線とを有する界磁巻線式同期機に適用される駆動制御装置において、前記同期機の運転状態が過渡状態であることを検出する過渡検出手段と、

前記過渡状態であることが検出された場合、その時の出力要求に基づいて前記界磁巻線による磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分を求め、その電流成分により前記電機子巻線に流れる電流を制御する電流制御手段とを備えることを特徴とする界磁巻線式同期機の駆動制御装置。

【請求項2】前記電流制御手段は、

その時の出力要求に基づいて、前記界磁磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分並びに該電流成分に直交する方向の電流成分の基本量を演算する基本量演算手段と、

過渡時の磁束変化量に基づいて補正量を演算し、その補正量により前記界磁磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分の基本量を補正する補正手段とを有する請求項1に記載の界磁巻線式同期機の駆動制御装置。

【請求項3】前記電流制御手段は、

その時の出力要求に基づいて、前記界磁磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分並びに該電流成分に直交する方向の電流成分の基本量を演算する基本量演算手段と、

過渡時の界磁電流の変化量に基づいて補正量を演算し、その補正量により前記界磁磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分の基本量を補正する補正手段とを有する請求項1に記載の界磁巻線式同期機の駆動制御装置。

【請求項4】前記界磁巻線の界磁磁束が電機子巻線側の磁束よりも十分に大きい場合、界磁巻線との間に負の相互誘導が発生するよう前記界磁巻線による磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分を制御し、前記界磁巻線の界磁磁束が電機子巻線側の磁束にほぼ一致する場合、界磁巻線との間に正の相互誘導が発生するよう前記界磁巻線による磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分を制御する請求項1～請求項3のいずれかに記載の界磁巻線式同期機の駆動制御装置。

【発明の詳細な説明】

$$e_f = L_f \cdot \frac{d i_f}{d t}$$

式(1)において、 $L_f$ は界磁巻線インダクタンスである。この自己誘導 $e_f$ が界磁電流 $i_f$ の変化を妨げるために、界磁巻線11に発生する界磁磁束 $\Phi_f$ の変化も妨げられ、結果として界磁磁束 $\Phi_f$ の応答性が悪化する。

【0007】本発明は、上記問題に着目してなされたものであって、その目的とするところは、界磁磁束の応答性を向上させることができる界磁巻線式同期機の駆動制御装置を提供することである。

【0008】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、界磁巻線式同期機に適用される駆動制御装置に関するものである。なおここで、界磁巻線式同期機とは、界磁巻線により界磁磁束を発生させる構造のもの他、界磁巻線と磁石とを併用して界磁磁束を発生させる構造のものも含むこととする。

【0002】

【従来の技術】この種の界磁巻線式同期機の基本構成を図9に示す。図9に示されるように、界磁巻線式同期機はU相、V相、W相の電機子巻線（ステータ巻線）10a、10b、10cと界磁巻線（ロータ巻線）11とを有し、各電機子巻線10a～10cには駆動電流 $i_u$ 、 $i_v$ 、 $i_w$ がそれぞれ供給される。界磁巻線11には電圧 $V_f$ が印加され、その電圧印加により界磁電流 $i_f$ が流れると共に磁束が発生する。

【0003】かかる構成において、既存の駆動装置では、界磁巻線に電流を流して磁束を発生させ、この界磁方向とそれに直交する方向とに座標軸を設定したd-q座標系を用いてベクトル制御が実施される。

【0004】この同期機は、例えば特開平9-74607号公報に示されるように、エンジンと無段変速機とで構成されるパラレルハイブリッド車に適用される。このハイブリッド車においては通常、同期機は車両の加速時或いは減速時に用いられ、定常走行している時は動作されない。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記ハイブリッド車の効率を向上させるため、定常走行時には界磁巻線の電流をゼロにし、加減速時には界磁巻線に必要な電流を流すように構成したいが、既存の装置では、界磁巻線式同期機の過渡運転時において界磁電流 $i_f$ の立ち上がりが遅く、その結果、出力トルクの立ち上がりが緩慢であるという問題が生じる。つまり、図10に示されるように、界磁巻線11に電圧 $V_f$ を印加すると、次の式(1)で表す自己誘導（逆起電力） $e_f$ が発生する。

【0006】

【数1】

…(1)

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明では、界磁巻線式同期機の運転状態が過渡状態であることを検出する過渡検出手段と、前記過渡状態であることが検出された場合、その時の出力要求に基づいて前記界磁巻線による磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分を求め、その電流成分により前記電機子巻線に流れる電流を制御する電流制御手段とを備える。

【0009】要するに、同期機の過渡運転時には界磁巻線による界磁磁束が変化するが、その際、界磁巻線には

自己誘導(逆起電力)が発生し、この自己誘導が界磁磁束の立ち上がりを遅らせる原因となる。これに対し本発明によれば、過渡運転時において、界磁巻線による磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分を求め、その電流成分により電機子巻線に流れる電流を制御することで、界磁巻線と電機子巻線との間に相互誘導を発生させる。そして、その相互誘導により自己誘導を抑制する。こうした構成により、界磁磁束の応答性を向上させることができ、ひいては出力要求に対するトルク応答性も向

$$e_f = L_f \cdot \frac{d i_f}{d t} - M \cdot \frac{d i_d}{d t} \quad \dots (2)$$

但し、式(2)において、 $L_f$ は界磁巻線インダクタンス、 $M$ は相互インダクタンスである。式(2)によれば、磁束の立ち上がりを妨げる逆起電力を打ち消すように相互誘導が働くため、界磁磁束の立ち上がりが速くなる。

【0012】実際には請求項2に記載したように、前記電流制御手段は、その時の出力要求に基づいて、前記界磁磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分並びに該電流成分に直交する方向の電流成分の基本量を演算する(基本量演算手段)。また、過渡時の磁束変化量(Φ変化量)に基づいて補正量を演算し、その補正量により前記界磁磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分の基本量を補正する(補正手段)。

【0013】或いは請求項3に記載したように、前記電流制御手段は、その時の出力要求に基づいて、前記界磁磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分並びに該電流成分に直交する方向の電流成分の基本量を演算する(基本量演算手段)。また、過渡時の界磁電流の変化量( $i_f$ 変化量)に基づいて補正量を演算し、その補正量により前記界磁磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分の基本量を補正する(補正手段)。

【0014】上記請求項2、3の構成では、既存のベクトル制御演算を用いて例えばd-q軸の電流基本量を求め、その基本量に対し新たにd軸電流の補正量を与える。これにより、界磁磁束の応答性を向上させるための電流成分が容易に且つ確実に求められる。

【0015】請求項4に記載の発明では、前記界磁巻線の界磁磁束が電機子巻線側の磁束よりも十分に大きい場合、界磁巻線との間に負の相互誘導が発生するよう前記界磁巻線による磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分を制御し、前記界磁巻線の界磁磁束が電機子巻線側の磁束にほぼ一致する場合、界磁巻線との間に正の相互誘導が発生するよう前記界磁巻線による磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分を制御する。

【0016】つまり、界磁巻線の界磁磁束が電機子巻線側の磁束よりも十分に大きい場合、界磁巻線との間に負の相互誘導が発生するよう電流成分を制御することで、全体としての有効磁束を確保し且つ、磁束の立ち上がり

上する。

【0010】本発明の基本原理を図7を用いて説明する。つまり、例えば界磁巻線Fの界磁方向とそれに直交する方向とに座標軸を設定したd-q座標系において、電機子巻線Sにd軸電流 $i_d$ を流し、それにより界磁巻線Fとの間で相互誘導を発生させる。この場合、自己誘導 $e_f$ は次の式(2)で与えられる。

【0011】

【数2】

を妨げる自己誘導を削減することが可能となる。また、界磁巻線の界磁磁束が電機子巻線側の磁束にほぼ一致する場合、界磁巻線との間に正の相互誘導が発生するよう電流成分を制御することで、全体としての有効磁束が増大する。上記の制御動作により、界磁巻線のインダクタンスの大小に拘わらず、常に界磁磁束の応答性を向上させることができる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、この発明を具体化した一実施の形態を図面に従って説明する。本実施の形態では、界磁巻線式同期電動機を駆動源とする電気車両に具体化し、その電気車両の制御システムについて構成及び作用を順次説明する。

【0018】図1は、電気車両用制御システムの概要を示す構成図である。図1において、コントローラ100は、図示しないCPU、ROM、RAMなどを主体とするマイクロコンピュータを備え、外部装置からトルク指令値を取り込む。トルク指令値は、例えば車両のアクセル操作量やブレーキ操作量に応じて設定されるようになっている。また、コントローラ100は、ROMに記憶されている演算プログラムに従いベクトル制御を実施し、前記取り込んだトルク指令値に基づき電動機1000の駆動を制御する。

【0019】電動機1000は、永久磁石を併用した界磁巻線式同期電動機にて構成され、その内部のU相、V相、W相の三相コイル(電機子巻線)1110にはインバータ回路200から駆動電流が供給される。なお、インバータ回路200には、電池からなる蓄電装置300が接続されている。界磁回路400は、電動機1000の界磁巻線1230を流れる界磁電流 $i_f$ を制御するための回路として構成されている。インバータ回路200並びに界磁回路400の動作はコントローラ100により制御される。

【0020】ここで、インバータ回路200の詳細な構成を図2に示す。インバータ回路200は、蓄電装置300のプラス端子及びマイナス端子に接続される主電源入力端子201、202と、電動機1000に内蔵されたU、V、W各相の巻線に接続される出力端子203、

204, 205と、コントローラ100内に設けられた図示しないゲート駆動部に接続される入力端子206, 207, 208, 209, 210, 211とを備える。

【0021】IGBTモジュール212, 213, 214は、IGBT素子（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ素子）とフライホイールダイオードとが各2個ずつ内蔵された周知の構成を有する。その構成をIGBTモジュール212について説明すると、当該モジュール212の端子C1は一方の主電源入力端子201に接続され、端子E2は他方の主電源入力端子202に接続されている。また、端子C2及び端子E1は出力端子203に接続され、電動機1000のU相巻線を駆動する構成となっている。IGBTモジュール212と同様に、IGBTモジュール213, 214はそれぞれ、電動機1000のV相巻線及びW相巻線を駆動する構成となっている。

【0022】さらに、インバータ回路200には、電流センサ215, 216が設けられており、同センサ215, 216の検出値は端子217, 218からコントローラ100に出力される。電流センサ215, 216は例えばクランプ型でホール素子を用いた非接触タイプのセンサからなり、出力端子203, 205に流れる電流を各々検出しその検出値を電圧信号で出力する。より詳細には、電流センサ215は、電動機1000のU相巻線を流れる電流 $i_u$ を検出し、電流センサ216は、電動機1000のW相巻線を流れる電流 $i_w$ を検出する。

【0023】次いで、電動機1000の構成を図3及び図4を用いて説明する。ここで、図3は電動機1000の縦断面図、図4(a)は図3のA-A線断面図、図4(b)は図3のB-B線断面図である。なお、図3は図4中のC-O-C線断面図に相当する。

【0024】図3に示されるように、電動機1000は、フロントフレーム1910及びエンドフレーム1911の内部に配設されたステータ1100と、フロントフレーム1910及びエンドフレーム1911に対してベアリング1920, 1921により回転可能に支持されたロータ1200と、ロータ1200の回転位置を測定するための回転センサ1930とを有する。ロータ1200は、ステータ1100内側を所定のエアギャップを介して回転する。

【0025】回転センサ1930は、周知のレゾルバロータ1931並びにレゾルバステータ1932からなり、レゾルバステータ1932はコントローラ100に電気的に接続されている。コントローラ100では、図示しない信号処理部において回転センサ1930の検出信号に基づきロータ位置 $\theta$ が求められる。

【0026】ステータ1100は、回転磁界を作るための三相コイル1110と、多数の電磁鋼板を積層したステータコア1120とから構成されている。図4に示されるように、ステータコア1120は、三相コイル11

10を挿入するためのスロット1121、ティース1122及びコアバック1123からなる。

【0027】ロータ1200は、多数の円環状電磁鋼板を積層したロータヨーク1210と、同ロータヨーク1210の両側面に配設され、多数の電磁鋼板を積層したロータヨーク1220と、ロータヨーク1210の内部に設けられた界磁巻線1230とを有し、これらロータヨーク1210, 1220及び界磁巻線1230により磁気回路ブロック1250が構成される。磁気回路ブロック1250の両側にはそれぞれ非磁性プレート1260が設けられている。

【0028】また、磁気回路ブロック1250には、シャフト1240のセレーションに圧入された円筒状鉄心1231と、その外周に設けられた樹脂ボビン1232とが設けられ、樹脂ボビン1232には界磁巻線1230が一方方向に巻装されている。シャフト1240の図中左端にはスプライン1241が形成されている。シャフト1240は電動機1000の出力軸に相当し、このシャフト1240の回転力が車両の図示しない車輪に伝達される。

【0029】界磁巻線1230は、ブラシホルダ1310、ブラシ1320、スリップリング1330及びリード部1350を介して外部の界磁回路400から給電を受ける。なお、リード部1350は、樹脂モールド等の絶縁部1340よりシャフト1240に一体的に設けられている。

【0030】一方、図4(a)に示されるように、ロータヨーク1210には $n$ 個（図では12個）の軸方向磁石挿入穴1211が周方向に等間隔で設けられ、また隣合う2つの磁石挿入穴1211の間には周方向中央部に丸穴1212が形成されている。

【0031】また、図4(b)に示されるように、ロータヨーク1220は、円環部1221とボス部1222とを有し、円環部1221とボス部1222とは $n/2$ 個の径方向リブ1223で連結されている。すなわち、リブ1223は「 $720/n$ 」°間隔で径方向に配置されている。円環部1221にはロータヨーク1210同様、軸方向磁石挿入穴1224が周方向に等間隔で設けられている。また隣合う2つの磁石挿入穴1224の間には周方向中央部に丸穴1225が設けられている。ロータヨーク1210, 1220の各々に形成される磁石挿入穴1211, 1224並びに丸穴1212, 1225はどれも同一法形状をなし、軸方向に連通するように設けられる。また、前記図3において、左右一對のロータヨーク1220は、互いのリブ1223が対向しないようにずらして配置されている。

【0032】図4(a), (b)に示されるように、磁石挿入穴1211, 1224には軸方向（紙面に直交する方向）から磁石1280が挿入され、隣合う磁石1280の磁極は同磁極となるように構成される。また、丸

穴1212、1225には同じく軸方向から軟磁性体ピン1281が圧入されている。このピン1281により、多数の円環状電磁鋼板からなるロータヨーク1210、1220が一体的に固定される。

【0033】要するに、本実施の形態における磁石併用型の界磁巻線式電動機1000では、磁石1280が周方向に着磁され、この磁石1280によりロータ1200外周にはN磁極、S磁極の各磁極が構成される。磁石1280によるN磁極の磁束は、N磁極側軟磁性体ピン1281、ロータヨーク1220のN磁極側リブ1223、円筒状鉄心1231、S磁極側リブ1223及びS磁極側軟磁性体ピン1281を通してS磁極に短絡している。これにより、ステータ1100側への有効磁束を分流、短絡し減少させている。

【0034】また、上記構成の電動機1000では、軟磁性体ピン1281、リブ1223及び円筒状鉄心1231などにより決定される短絡部磁気抵抗を適宜設定することで、界磁巻線1230の通電時並びに非通電時においてステータ側の有効磁束量を任意に調整することが可能となる。

【0035】図5及び図6は、コントローラ100内蔵のROMに記憶されている制御プログラムを示すフローチャートであり、このフローはメインプログラムとしてコントローラ100により実行される。このメインプログラムではその概要として、トルク指令値 $T^*$ と、電動機1000のロータ位置 $\theta$ と、電動機1000のU相巻線及びW相巻線を流れる電流（電流センサ215、216の出力）とに基づきベクトル制御が実施され、トルク指令値通りに電動機1000の駆動が制御される。

【0036】さて、図5及び図6のメインプログラムは、車両のIGキースイッチがONされることでスタートする。コントローラ100は、先ずステップ101でトルク指令値 $T^*$ 及びモータ回転数 $N_m$ を読み込む。ト

$$\Phi_0 = \Phi_{f0} + \Phi_{d0} + \Phi_m$$

$$= \frac{M_{fd}}{N_d} \cdot i_{f*} + \frac{M_{fd}}{N_f} \cdot i_{d*} + \Phi_m \quad \dots (3)$$

式(3)において、 $M_{fd}$ は、界磁巻線1230とd軸巻線（三相コイル1110）との間の相互インダクタンス、 $N_f$ は界磁巻線1230の巻数、 $N_d$ はd軸巻線の巻数である。電流値 $i_{f*}$ 、 $i_{d*}$ は、電流指令値である。なお、磁束指令値 $\Phi_0$ は上記演算により求める他、マップ適合値により求めるようにしてもよい。

【0042】また、コントローラ100は、ステップ1

$$\Phi_1 = \Phi_{f1} + \Phi_{d1} + \Phi_m$$

$$= \frac{M_{fd}}{N_d} \cdot i_{f1} + \frac{M_{fd}}{N_f} \cdot i_{d1} + \Phi_m \quad \dots (4)$$

式(4)において、電流値 $i_{f1}$ 、 $i_{d1}$ は、三相コイル1110のU相電流 $i_u$ 及びW相電流 $i_w$ から求められる

トルク指令値 $T^*$ は、例えばアクセル操作量やブレーキ操作量などの加速又は減速要求に応じて設定され、モータ回転数 $N_m$ は、回転センサ1930の検出結果に基づき随時算出される。

【0037】コントローラ100は、続くステップ102で予めROMに記憶されている二次元マップを用い、その時々々のトルク指令値 $T^*$ とモータ回転数 $N_m$ とに応じてd-q座標系におけるd軸電流基本値 $i_{d0}$ 、q軸電流指令値 $i_{q*}$ 、界磁電流指令値 $i_{f*}$ を各々算出する。ここで、d軸電流基本値 $i_{d0}$ は、後述する電流補正が行われる前の基本量に相当する。

【0038】その後、コントローラ100は、ステップ103で今現在の車両運転状態が過渡状態であるか否かを判別する。具体的には、トルク指令値 $T^*$ の前回値と今回値とを比較して、その差が所定量以上であれば車両の加速又は減速要求が入ったとみなし過渡状態である旨を判別する。

【0039】過渡状態でない定速走行時にはステップ103が否定判別され、コントローラ100は、ステップ104でd軸電流基本値 $i_{d0}$ を補正するための電流補正值 $i_{dh}$ を「0」とする。すなわち、かかる場合にはd軸電流 $i_d$ が補正されない。そしてその後、ステップ108に進む。

【0040】一方、過渡状態であればステップ103が肯定判別され、コントローラ100は、ステップ105～107で電流補正值 $i_{dh}$ を演算する。詳細には、コントローラ100は、ステップ105で磁束指令値（総磁束） $\Phi_0$ を演算する。磁束指令値 $\Phi_0$ は、例えば次の式(3)を用い、エアギャップ中の界磁巻線1230による界磁磁束 $\Phi_{f0}$ 、エアギャップ中のd軸磁束 $\Phi_{d0}$ 、磁石1280による界磁磁束 $\Phi_m$ を加算して求められる。

【0041】

【数3】

06で実磁束（総磁束） $\Phi_1$ を演算する。磁束指令値 $\Phi_1$ は、例えば次の式(4)を用い、エアギャップ中の界磁巻線1230による界磁磁束 $\Phi_{f1}$ 、エアギャップ中のd軸磁束 $\Phi_{d1}$ 、磁石1280による界磁磁束 $\Phi_m$ を加算して求められる。

【0043】

【数4】

電流計測値である。なお、実磁束 $\Phi_1$ は上記演算により求める他、センサ等により測定してもよい。例えばステ

ータ110Qとロータ1200との間にサーチコイルを設け、そのサーチコイルにより実磁束を測定する。

【0044】その後、コントローラ100は、ステップ107で前記算出した磁束指令値 $\Phi_0$ と実磁束 $\Phi_1$ とに基づきd軸電流補正值 $i_{dh}$ を演算する。実際には、磁束指令値 $\Phi_0$ と実磁束 $\Phi_1$ との偏差がなくなるよう $i_{dh}$ 値を演算する、といった周知のフィードバック手法を用いればよいが、フィードフォワード手法や或いはそれらを組み合わせた手法を用いてもよい。

【0045】そして、コントローラ100は、ステップ108でd軸電流基本値 $i_{d0}$ に電流補正值 $i_{dh}$ を加算し、その和をd軸電流指令値 $i_d^*$ とする( $i_d^* = i_{d0} + i_{dh}$ )。

【0046】なおここで、界磁巻線1230の界磁磁束が三相コイル1110側の磁束よりも十分に大きい場合には、エアギャップに負の相互誘導が発生するようd軸電流成分を制御し、界磁巻線1230の界磁磁束が三相コイル1110側の磁束にほぼ一致する場合には、エアギャップに正の相互誘導が発生するようd軸電流成分を制御するとよい。これにより、界磁巻線インダクタンスの大小に拘わらず常に、全体としての有効磁束を確保し且つ、磁束の立ち上がりを妨げるような自己誘導を削減することが可能となる。

【0047】その後、コントローラ100は、ステップ109で電流センサ215、216の出力である電動機1000のU相線電流 $i_u$ 及びW相線電流 $i_w$ を読み込み、続くステップ110で電動機1000のロータ位置 $\theta$ を読み込む。

【0048】また、コントローラ100は、図6のステップ111でd-q座標系におけるそれぞれの電流成分である電動機1000のd軸電流 $i_d$ 及びq軸電流 $i_q$ を演算する。つまり、上記U相線電流 $i_u$ 及びW相線電流 $i_w$ とロータ位置 $\theta$ とに基づき、電動機1000の巻線に流れる三相交流電流をd-q座標系のd軸電流 $i_d$ 及びq軸電流 $i_q$ に変換する。

【0049】次に、コントローラ100は、ステップ112で前記演算したd軸電流指令値 $i_d^*$ 及びq軸電流指令値 $i_q^*$ と、d軸電流 $i_d$ 及びq軸電流 $i_q$ とに基づいて、d軸成分とq軸成分毎にそれぞれの電流偏差 $e_d$ 、 $e_q$ を演算する( $e_d = i_d^* - i_d$ 、 $e_q = i_q^* - i_q$ )。さらにその後、コントローラ100は、ステップ113で前記演算した電流偏差 $e_d$ 、 $e_q$ と電動機1000の電氣的定数とに基づいて、電動機1000に印加する電圧のd-q軸成分であるd軸電圧指令値 $V_d^*$ 及びq軸電圧指令値 $V_q^*$ を演算する。

【0050】その後、コントローラ100は、ステップ114で電動機1000のd軸電圧指令値 $V_d^*$ 及びq軸電圧指令値 $V_q^*$ から三相交流の相電圧指令値 $V_u^*$ 、 $V_v^*$ 、 $V_w^*$ を演算し、続くステップ115で界磁電圧指令値 $V_f^*$ を演算する。さらに、コントローラ100は、ス

テップ116で前記演算した相電圧指令値 $V_u^*$ 、 $V_v^*$ 、 $V_w^*$ について例えば10kHzを変調周波数とするパルス幅変調(PWM)の演算を行うと共に、その演算結果をコントローラ100内蔵のPWMレジスタに書き込み、その後本プログラムを終了する。

【0051】図8は、磁束の変化を時間の経過と共に示すタイムチャートである。図8において、実線は本実施の形態における磁束変化を、点線は従来装置における磁束変化を示す。同図によれば、従来装置に比較して磁束の収束が大幅に速くなるのが分かる。

【0052】なお本実施の形態では、図5のステップ103が請求項記載の過渡検出手段に相当し、同ステップ102～108が電流制御手段に相当する。特に、図5のステップ102が基本量演算手段に相当し、ステップ105～108が補正手段に相当する。

【0053】以上詳述した本実施の形態によれば、以下に示す効果が得られる。

(a) 本実施の形態では、電動機1000の過渡運転が検出された場合、その時の出力要求に基づいてd軸電流成分(界磁巻線1230による磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分)を求め、そのd軸電流成分により三相コイル1110に流れる電流を制御するようにした。これにより、界磁巻線1230と三相コイル1110との間に相互誘導が発生し、その相互誘導により界磁巻線1230の自己誘導(逆起電力)が抑制される。その結果、界磁磁束の応答性を向上させることができ、ひいては出力要求に対するトルク応答性も向上する。

【0054】(b) d軸電流指令値 $i_d^*$ の演算に際し、その時々トルク指令値 $T^*$ に基づいてd軸電流基本値 $i_{d0}$ を求めると共に、磁束変化量( $\Phi_0 - \Phi_1$ )に基づいて電流補正值 $i_{dh}$ を演算し、その補正值 $i_{dh}$ によりd軸電流基本値 $i_{d0}$ を補正するようにした。本構成によれば、界磁磁束の応答性を向上させるための電流成分が容易に且つ確実に求められる。

【0055】(c) 界磁巻線1230の界磁磁束と三相コイル1110(電機子巻線)側の磁束との大小に応じて、エアギャップに発生する相互誘導の正負を決定するようにした。この場合、界磁巻線インダクタンスの大小に拘わらず常に、全体としての有効磁束を確保し且つ、磁束の立ち上がりを妨げるような自己誘導を減少させることが可能となる。

【0056】(d) 磁石併用型の界磁巻線式電動機1000の構成として、多数の電磁鋼板を積層したロータヨーク1210、1220と、そのロータヨーク1210、1220上にN極及びS極を構成する磁石1280と、そのN極及びS極を磁氣的に短絡するピン1281と、ピン1281に流れる磁束量を制御する界磁巻線1230とを設けた。この構成により、電動機1000の単体効率が高められる。また、電動機1000の小型化を図ることができる。

【0057】なお、本発明の実施の形態は、上記以外に次の形態にて具体化できる。上記実施の形態では、過渡運転時において磁束変化量に基づきd軸電流指令値 $i_d^*$ を決定したが、これを変更する。例えばその時々出力要求に基づいてd軸電流成分の基本量を演算すると共に、過渡時の界磁電流 $i_f$ の変化量（界磁電流指令値と実電流値との偏差）に基づいて補正量を演算し、その補正量によりd軸電流成分の基本量を補正する。そして、この補正後の値をd軸電流指令値 $i_d^*$ として、電動機1000の駆動電流を制御する。この場合、界磁電流 $i_f$ の増加時にはd軸電流指令値 $i_d^*$ を減らし、界磁電流 $i_f$ の減少時にはd軸電流指令値 $i_d^*$ を増やすとよい。かかる構成においても、上記実施の形態と同様に、界磁電束の応答性が向上するなどの優れた効果が得られる。

【0058】上記実施の形態では、d軸電流指令値 $i_d^*$ の演算に際し、先ずは基本量を演算し、その基本量を補正したが、この構成を変更する。例えば補正演算をなくし、磁束変化量或いは界磁電流変化量に基づくマップ検索等によりd軸電流指令値 $i_d^*$ を求めるようにする。

【0059】上記実施の形態では、界磁巻線による磁界と同軸成分の磁束を作るための電流成分とそれに直交する方向の電流成分とによるベクトル制御に際し、d-q座標系を用いたが、いわゆる $\alpha$ - $\beta$ 座標系やM-T座標系を用いるなど、他の座標系を用いベクトル制御を実施してもよい。

【0060】上記実施の形態では、磁石併用型の界磁巻線式同期電動機に本発明を具体化したが、他の同期電動機に適用する。例えば永久磁石を併用せず、界磁巻線と

電機子巻線とのみを有する電動機に具体化してもよい。

【0061】本発明は、上記電気車両用制御システムに加え、他の装置にも適用できる。例えばハイブリッド車両の制御システムに適用できる。勿論、車両以外に適用される同期機に具体化することも可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】発明の実施の形態における電気車両用制御システムの概要を示す構成図。

【図2】インバータ回路の電氣的構成を示す回路図。

【図3】電動機の構成を示す縦断面図。

【図4】(a)は図3のA-A線断面図、(b)は図3のB-B線断面図。

【図5】コントローラによるメインプログラムを示すフローチャート。

【図6】図5に続き、メインプログラムを示すフローチャート。

【図7】発明の基本原理を説明するための図。

【図8】磁束の変化を示すタイムチャート。

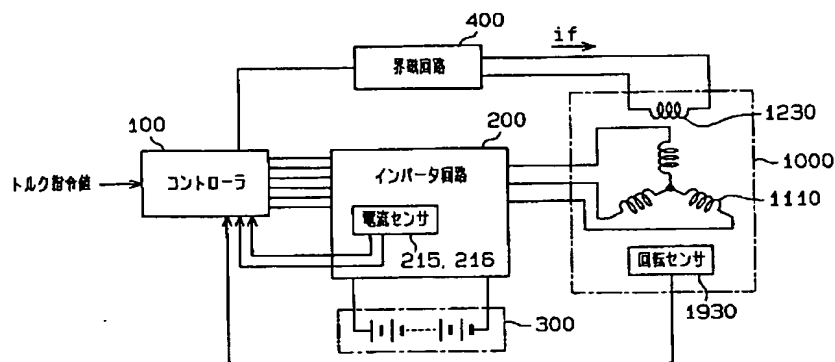
【図9】従来一般の界磁巻線式同期機の基本構成を示す概略図。

【図10】界磁巻線に発生する自己誘導を説明するための図。

【符号の説明】

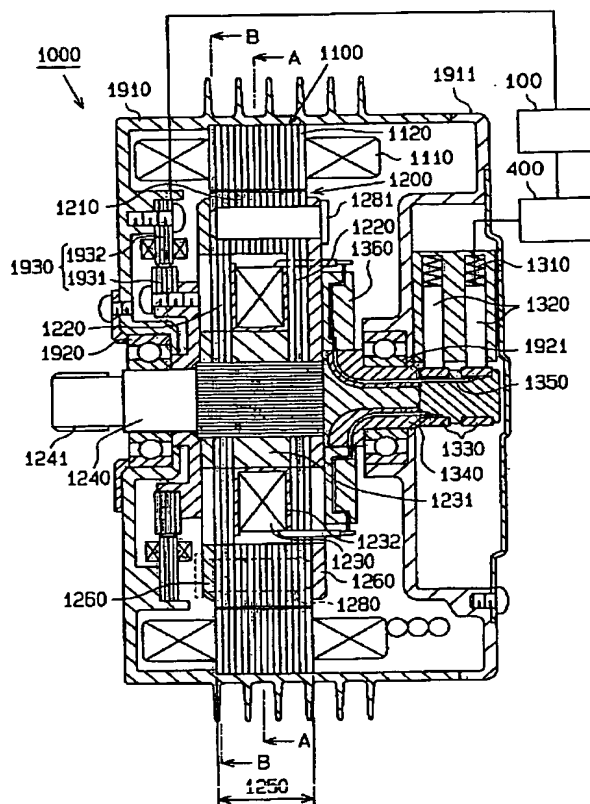
100…過渡検出手段、電流制御手段、基本量演算手段、補正手段を構成するコントローラ、200…インバータ回路、300…蓄電装置、1000…電動機（界磁巻線式同期機）、1110…三相コイル（電機子巻線）、1230…界磁巻線。

【図1】

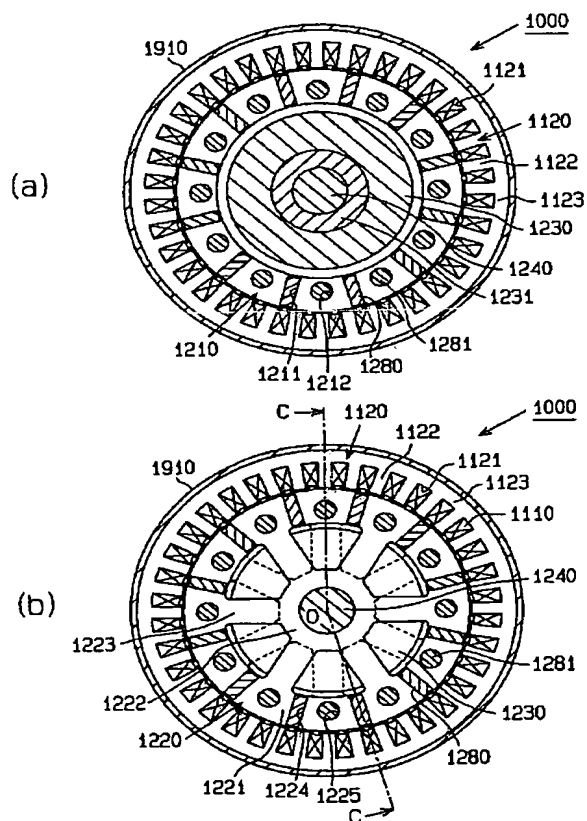




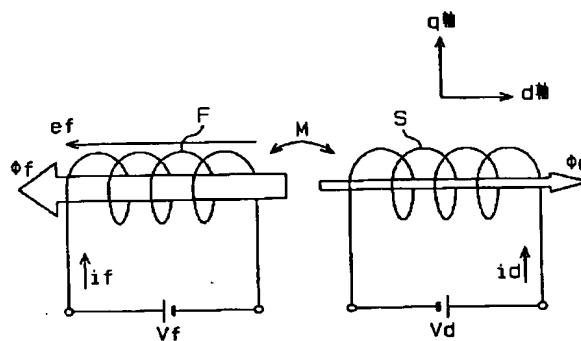
【図3】



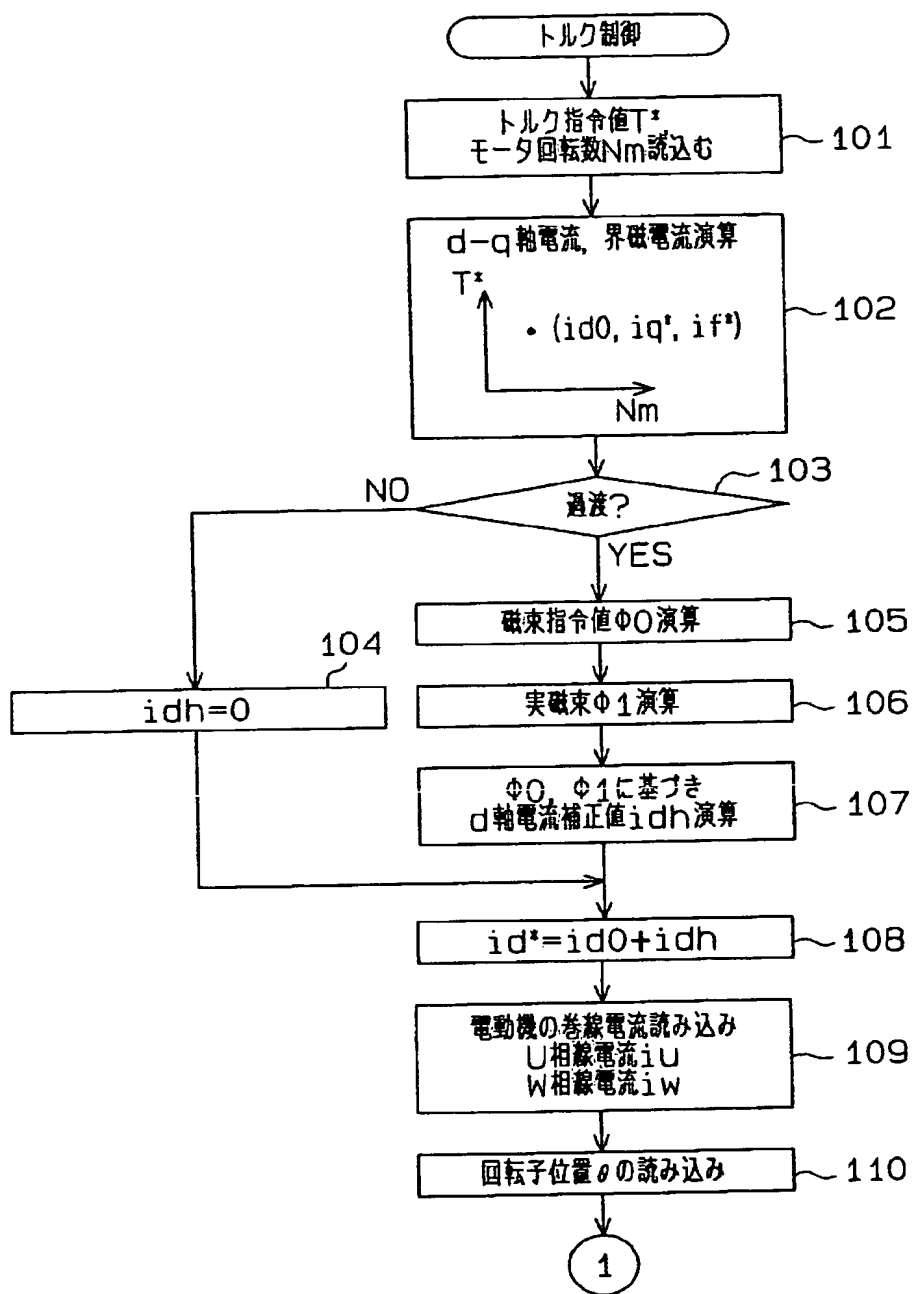
【图4】



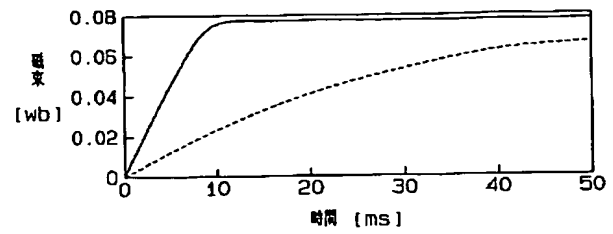
【図7】



【図5】



【図8】



【例 10】

